

第 13 章

応用の例

第 13.1 節 はじめに

ICRP モデルは、内部アルファ線被曝の場合だけは区別するが、外部被曝であっても内部被曝であっても、同位体がもたらす全エネルギーの平均値に基づいて健康影響を予測しようとする。他方において、ECRR モデルは、内部被曝と外部被曝との区別を決定的に重要な基礎としている。内部被曝線量については、ある特定の同位体の間においてもそれは区別され、さらにその同位体が原子（分子）の形態から放射線を発しているのか、それとも、ミクロンサイズあるいはサブミクロンサイズの微粒子の形態からそれを発しているのかに依存するそれら形態間におけるの線量の配分の間においても区別される。

表 10.6 においてアスタリスク（*）をつけた同位体は、ICRP によっては考慮されていない機構を通じて突然変異をもたらし得るそれらの能力にしたがって、その被曝の経路や被曝のタイプについて、 W_j や W_k を通じて表現される、過剰な荷重を保持している。これらの同位体とそれらの荷重を表 13.1 に示す。

表 13.1 核実験降下物の内部被曝同位体に対する ECRR の荷重

同位体	荷重	備考
H-3 (トリチウム)	10	核壊変/水素結合による増幅 (Transmutation/hydrogen bonding amplification)
C-14 (炭素-14)	5	核壊変と酵素による増幅 (Transmutation and enzyme amplification)
Sr-90 (ストロンチウム-90)	300	DNA 結合性 (10) と 2 段階原子壊変事象 (30) (DNA binding (10) and Atomic Second Event (30))
Pu, Am (プルトニウム、アメリシウム)	300	不溶性粒子
Ce-144 (セリウム-144)	50	不溶性粒子
Ru-106 (ルテニウム-106)	50	不溶性粒子

この章の目的は、ある与えられた被曝に対するヒトの健康影響を評価するために使用することの出来る、ECRR の新しいリスクモデルが進めるプロセスの考え方を示すところにある。異なる 3 つの被曝エピソード (episode) による疾病の発症数を、ICRP と ECRR との両方のモデルを用いて近似として計算する。これらの被曝エピソードとは、地球規模の核実験降下物による死者数、2000 年までの原子力開発の全体によってもたらされた死者数と発症者数 (morbidity) 及び生活の質の損失 (loss of life quality) そして、チェルノブイリである。ここで議論する様々な被曝集団に対する、ある特定の同位体がもたらす内部被曝線量は明らかにされてきてはいない。したがっていくつかの近似が必要になる。

第13.2節 大気圏内核実験による地球規模での死者数

表13.2に、全世界の集団に対する死者数についての予測のECRRとICRPとの間の違いを示す。UNSCEARによって与えられている地球規模での核実験降下物による被曝線量の数値は、この惑星全体にわたって平均化されたものである。降下物の実際の分布は一様ではなかった：一般的に北半球はより多くの降下物をこうむり、ヨーロッパでのレベルは降雨の影響によってさらにいっそう高かった。ヨーロッパにおけるその実際の影響についての正しい理解には、ひとつの例としてイングランドとウェールズを取り上げることで近づくことができるだろう。英国の政府当局によってなされた測定は、降下物同位体による被曝線量の極めて正確な見積もりを与えている。イングランドとウェールズ（人口6千6百万人）の1950年から1963年までの期間にわたるストロンチウム-90の累積線量は、ICRPモデルを用いて農業研究諮問委員会（Agricultural Research Council）によって評価されたところによると、およそ0.6 mSvであった。

表13.2 UNSCEAR1993からの数値を用いた核実験降下物の死者数と発病者数、及びICRPモデルとECRRモデルとの比較。

影響	ICRP線量 mSv	ICRP 死者数	ECRR線量 mSv	ECRR 死者数
ガン死	4.464	^a 1,116,000	104	^b 52,000,000
^c 小児死亡	1	0	24	857,000
生活の質の喪失	4.464	0	104	^d 10%
初期胎児死亡 + 死産	1	0	24	1,660,000

a DDRFの2を含めてリスク係数0.05/Svを使用

b DDRFを排除してリスク係数0.1/Svを使用

c 1959年から1963年の5年間に被曝した集団の5年間の線量当に1mSvを仮定

d その寿命中にピークであった5年間の被曝をした集団である50億人の世界の集団にわたって平均した

ECRRの荷重係数を用いると、この地球規模の降下物の数値は180 mSvの内部被曝に等価なものになる。4千6百万人の集団に対しては、この被曝は70年と言われる被曝した個々人の寿命中における、82万8千人の過剰なガン死に換算される（46,000,000人×0.1/Sv×0.18 Sv = 828,000人）。これはおおよそ年間1万1千800人の過剰なガン死である。その降下物による被曝がガン死者数に関係することが可能になるよりも前の1958年の時点では、イングランドとウェールズとにおける全てのガンによる死者は9万6千342人でしかなかった。1990年にはこの数字は14万4千577人になった。概数では変化していない総人口に対して50%の増加である。すなわち、ガン治療医療技術の進歩にも関わらず、4万8千235人のガン死が余分に生じたことになる（訳注：144,577人 - 96,342人 = 48,235人）。これらの多くはその集団の平均年齢が高くなった結果であったかも知れない。しかしながら、これについての規格化すると、イングランドとウェールズとにおいて年齢規格化後に直して、ガン発生に少なくとも20%の増加があったことが示されている。この増加はイングランドにおいては1980年代に、ウェールズ（ここではそれが約35%多かった、第10章参照）においては1970年代の中頃に始まった。したがって英国においては、毎年およそ1万8千人のガン死の増加が1958年の総数を超

えて存在してきている；それは降下物の傾向とよく合う時間的スペクトルを持っており、また、降下物がより多かったウェールズにおいてより大きくなっている。その集団の加齢とは別のある原因にそれは帰因する。その原因が環境であることは、1960年代のWHOの声明ではガンの原因に関連して言外に含まれており、最近のコス島(Kos Island)ASPIS会議2001年声明によっては確認されている。ECRRリスクモデルによる毎年1万2千人を少し下回るという予測は(訳注：この節の冒頭にある「年間1万1千800人の過剰なガン死」を指す)その降下物がこの「ガン異常発生」の原因であることを示唆している。ウェールズの集団に対するより高い累積線量は、同様にその地方における比例したより大きな影響を説明するものである。

第13.3節 ICRPとECRRによる、2000年までの原子力開発がもたらした、 全死者数と全発症者数、及び全ての生活の質の損失

UNSCEAR1993による数値は、1989年までの全世界の集団に対して評価されたICRPの集団等価線量の総計を与える。それはICRPモデルに基づいているのであるが、それらの線量が正しいと仮定すると、この一覧は全致死ガン発生数を計算するための基準線を与える。その被曝源を表13.3に示し、ICRPとECRRモデルに基づく計算を表13.4に示す。

バーテルは最近、核開発の結果である全ての原因から12億人(1200 million)というより高い全死者数を与える計算を行ってきている。

第13.4節 チェルノブイリ原発事故の死亡者数予測：線形モデルへの警告

UNSCEAR1993報告は、その表5.8において、チェルノブイリ原発事故による全世界の集団に対する全預託実効線量が600,000人・シーベルトであるとしている。ICRPのリスク係数である0.05/Svは、この数値から世界中で3万人の致死ガンを予測することになる；UNSCEAR2000報告が示すように、そのような増加は統計的には見えないものであろう(訳注： $600,000 \times 0.05 = 30,000$)。

ゴフマンは、著しい被曝のあった世界の主な国における外部預託線量を計算するために、セシウム-137の地域別沈着量を用いており、さらに(ヒロシマLSSデータから彼のアプローチで導いた)シーベルト当たり0.37という彼独自のリスク係数を適用し、致死ガン者数が970,500人になると算出している。この計算においては内部被曝線量は利用されていない。

ベラルーシ大使から英国に委任された報告書において、バスビーは最近、ウェールズにおける降下物によるガンの発生数を利用し、その事故に続く最初の5年間の被曝によって、ベラルーシにおける致死ガン発生率が50%増加する、すなわち、人口980万人の集団において一年当たり2万5千人の過剰なガンが発生するという評価を与えている。

ベラルーシについて、本委員会はUNSCEAR1993報告が個々の放射性同位体の被曝について与えている線量を区別し、第6章で与えた内部被曝の過剰なリスクについての荷重係数を適用した。本委員会は次のような近似計算を行った。その最初の年におけるベラルーシの平均預託実効線量は、サブチェンコ(Savchenko)によって2 mSvである

と与えられている。もしもこれが5年間に外挿され、その線量の3分の1がストロンチウム-90、すなわち危険な微粒子、によって担われているとすれば、ECRRモデルにおける累積線量はおよそ900 mSvであるとの計算になる。そして、本委員会が当然のことと考えている88万2千人の致死ガン発生が50年間にわたって現れるであろう。それは年当たりにして17,640人の過剰致死ガンであるが、バスビーによる計算とおよそ一致している（訳注：前段落の25,000人）。70年間における発生数は、ベラルーシだけで120万人である。UNSCEARによって評価されている地球規模の数値についての同様のアプローチによると、チェルノブイリによる70年間にわたっての地球規模でのガン死者数は600万人の過剰となることが示唆される。

表13.3 1993年までの核開発によるICRPに基づく地球規模の実効線量預託と近似的なECRRモデルの実効線量預託。(出典 UNSCEAR1993表58)

被曝源	ICRPに基づく 集団実効線量預託 (人・シーベルト)	^a ECRRに基づく 集団実効線量預託 (人・シーベルト)
地球規模の核実験	22,300,000	579,800,000
核兵器製造	10,000	260,000
原子力発電	100,000	2,600,000
放射性同位体製造	80,000	8,000,000
事故	602,120	15,655,120
局地的、地域的線量	380,000	9,880,000
総計	23,472,129 (^b 4.7 mSv)	616,195,120 (^b 123 mSv)

^aECRRの数値は、放射性同位体製造についてより高い内部被曝線量の見込んでいることを別にして、同位体と内部放射線との比率はUNSCEARによって計算されたものと同じ比率であると仮定している（訳注：この仮定の結果としてECRRの線量預託は、放射性同位体製造以外は、ICRPのその26倍になっている）

^bUNSCEARによって仮定されている世界の人口50億人に基づいている（訳注：例えばICRPの総計について、 $23,472,129/5,000,000,000 = 0.00469$ という意味）

本委員会のモデルによる予測値とICRPのアプローチに基づいたそれらとの間にある大きな違いは、個々の細胞に高い線量を与える強調された能力のある内部放射線が、予測される健康損害を変えることの出来るその大きさの程度を示している。地球規模での降下物の場合のように、その2つのアプローチは、被曝したグループにおけるガンの観察された増加を調査することによって、容易に試されるだろう。しかしながら、ECRR リスクモデルにおいてモデル化された仮定に言外に含まれていることは、線形応答であるということを中心に留めておかななくてはならない。本委員会はこれが真実でありそうにないことを明らかにしてきている。それゆえに、その健康損害を計算するのに適用したモデルはそれを平均化したものに過ぎないのだということを強調するのである。ICRPの集団線量モデルが既に適用されてきている集団における、あるいは、そのような線量を利用できるところでは、そのリスクのより合理的で正確な評価を得るために使用されるようにそれは意図されている。歴史的なICRPの集団線量モデルに対して現時点で利用できる最も合理的な修正になるようにそれは意図されている。これらの集団においては、本委員会が再検討した2相的（biphasic）あるいは超線形の線量応答関係の結果として、高線量のグループが比例してより低いレベルのガンを持つようになるかも

しれない。したがってチェルノブイリの影響についての研究は、参照集団を使用したり線形リスクの仮定から論ずるというよりも、その事故以前の健康データとその事故以後のデータとを比べるべきなのである。

表 13.4 UNSCEAR の 1989 年までの数値に基づいた核開発による被曝の地球規模における結果。

影 響	ICRP 発生数	ECRR 発生数
ガン死	1,173,606	61,619,512
全ガン	2,350,000	123,239,024
小児死亡	0	1,600,000
胎児死亡	0	1,880,000
人生の質の喪失	0	10%

第14章

リスク評価方法のまとめ、原理と勧告

第14.1節 リスク評価方法

電離放射線被曝による健康への影響を明らかにするための ECRR のモデルは、ECRR が内部被曝のある特定の種類に対して強調される損害荷重の体系を導入することについての理論的ならびに疫学的根拠を認識してきていることを除いては、概ね ICRP のそれにしたがっている。したがって ICRP によって被曝に対して開発され使用されている被曝線量の基本的な単位は、ECRR の強調荷重係数をとまなうようなそれら同位体や被曝については修正されることになる。これらの修正に続いて、もしも外部からの平均でおよそ 0~20 mSv の範囲にある、制限された線量域について線形的線量応答関係を仮定するならば、致死ガンについての健康損害について近い値を得ることが可能である。本委員会はこのモデルは完全にひとつの便利な概算を与えるために開発されてきたということを強調する。そして、線量応答の関係はほとんどの場合においては線形ではないということをはっきりさせておきたい。

その基本的な方法は次に示す手順にしたがう：

1. 被曝線量の外部線量と内部線量への区別。
2. 種々の臓器や全身に対する預託線量を確定するために ICRP のバイオキネマティックモデル (biokinematic model) を用いる。
3. その線量を線質係数荷重 (相対的生物学的実効) を用いて荷重し、預託実効線量を求める。
4. それらの内部線量の、種々の同位体ならびに被曝の種類 (ホット・パーティクルか原子か) の間での区別。
5. その線量を ECRR 荷重係数を用いて荷重する。
6. 外部、内部、荷重内部の全ての線量を足し合わせて一緒にする。
7. 適当なリスク係数 (例えば、致死ガンについてはシーベルト当たり 0.1) をその結果に掛ける。
8. これはその被曝した個々人の生涯にわたって考慮されたそのリスクについての近い絶対値を与える。

多くの場合において、この手順の最初の部分はリスク評価機関のひとつによってなされてきているようなものであり、その結果である様々な同位体や被曝からの線量は次いで上の4から8項目によって修正され得る。総合的な線量しか公表されてきていない事象については、外部線量と内部線量との割合についてのある近似をしなくてはならない。重要になる主な同位体被曝に関しては、本委員会は、成人、小児 (1~14歳)、乳幼児 (0~1歳) に対する線量係数を付録 A の表 1 に列記している。ECRR による同位体リスクの完全なリストについては準備中である。

第14.2節 原理と勧告

1. 本委員会は、政策と規制とにおいて活用することを目的とした、放射線被曝の影響

評価を与えるモデルを開発してきた。

2. その方法は、異なったタイプの被曝や種々の被曝源が被曝集団にもたらす集団線量の計算、そして、簡単な規則と係数を用いた、集団の平均的健康損害の計算を含んでいる。
3. 本委員会はそのモデルが自然バックグラウンド放射線の影響を概算するのにも利用できると考えている。
4. 本委員会は、人類がつくり出した同位体の放出や天然同位体の新しいやり方での放散を含む、何らかの新しい行為によってもたらされる公衆の構成員に対する最大許容線量は0.1 mSv よりも低く維持されるべきであると勧告する。
5. 本委員会はこのように被曝レベルについて、ICRP によって勧告されているそのレベルよりもかなり低くするように主張しており、環境中への放射能の放出と関係しているほとんどの事業は、そのような勧告を採用することによってきびしく切り縮められることになると認識している。しかしながら本委員会は、これは政策決定がそのような決定の帰結に関する正確な知識に基づいてなされなければならない、まさにそのような分野であると痛感している。
6. 本委員会は原子力労働者に対する被曝限度は、ある等価量に適合されるべきである。したがって、この値は5 mSv にすべきであると勧告する。
7. 本委員会は放射線安全の法律制定に正当化の原理が含まれることを是認するが、ここにいう正当化が、その費用がある者に負わされる一方でその便益が他の者に生じるような、功利主義を基礎にして成しとげることが可能であるとは考えていない：むしろ全ての個々人の権利が等しく尊重されるべきである。
8. 本委員会は、最も優れた技術を利用して、放射線被曝線量が可能な限り低く抑えられるよう勧告する。
9. 本委員会は、放射線被曝に関係する政策のいかなる評価においても、被曝に結びつくあらゆる健康損害を考慮に入れるよう勧告する。この点については、これから生まれる胎児にも、生きている人々と同等の権利があると考えられるべきであると考ええる。
10. 本委員会は、放射線被曝を含むすべての行為のあらゆる損害を査定する時には、全ての生命体への影響を含む、放射能放出の環境における帰結が考慮されなければならないと考える。
11. 本委員会は、放射線被曝と健康損害についての研究を検討し続けるつもりである。そして、放射線生物学と観察されている疫学の両者を反映するように開発されてきているそのモデルを改良してゆくつもりである。